Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 2, Summer 2022, p. 163-178

Improving the Nutrient Content, Physiological Indices and Grain Yield of Black seed (*Nigella sativa* L.) with the Application of Vermicomposting at Different planting Dates

A. Bahramifar[1], M. R. Baziar[2*]

Received: 15-09-2021 Revised: 29-11-2021 Accepted: 09-02-2022	**How to cite this article:** Bahramifar, A., and Baziar, M. R. 2022. Improving the Nutrient Content, Physiological Indices and Grain Yield of Black seed (*Nigella sativa* L.) with the Application of Vermicomposting at Different planting Dates. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 163-177. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/jcesc.2022.72537.1088.

Introduction

One vital area of research about medicinal plants is to study the different environmental conditions affecting the quality of these plants. Also in the research of medicinal plants, it is necessary to investigate and find the optimal conditions to produce the plants with the highest possible yield. Knowing the proper planting date of medicinal plants for each region can be effective in increasing the yield. Cultivation date is one of the main factors in determining the yield of black seed. Accordingly, in different regions, different times have been suggested for the cultivation of this plant. On the other hand, due to the environmental problems caused by the use of chemical fertilizers, the use of organic fertilizers can be used as a solution to increase the yield of medicinal plants. Therefore, vermicomposting can increase yield by improving the condition of the soil bed.

Materials and Methods

The factorial experiment was conducted in the form of a randomized complete block design with three replications in the field of Fasa in 2021. The first factor includes six planting dates (3 February, 19 February, 5 March, 21 March, 4 April and 21 April) and the second factor includes vermicomposting at three levels (control, no fertilizer and vermicomposting 5 and 10 tons Per hectare). The Vertebrate application of vermicomposting was used. At the end of the growth period, nutrient concentrations, physiological traits and grain yield and yield components were measured.

Results and Discussion

The results showed that acceleration or delay in planting reduced the uptake of nitrogen and phosphorus in black seed. Delay in planting may have reduced nitrogen and phosphorus uptake by reducing root growth and nutrient uptake. Also, the highest nitrogen and phosphorus uptake of leaves was observed in the use of 5 and 10 tons of vermicompost fertilizer. At different planting dates, the use of vermicompost reduced ion leakage and increased the relative leaf water content and chlorophyll content. Consumption of vermicompost due to improved absorption of nutrients such as nitrogen has led to more synthesis of photosynthetic pigments. Therefore, considering the key role of elements such as nitrogen in the structure of chlorophyll, it seems that the supply of this element is the main reason for the increase in leaf chlorophyll in this study. Also, 10 tons of vermicompost increased the grain yield on planting dates of 19 February and 5 March by 13.2% and 17.8%, respectively, compared to the control. Production of higher yield at the vermicompost level compared to the control is due to the absorption of more nutrients as well as the improvement of photosynthetic pigments and the relative content of leaf water. Early sowing on 3 February and delay in sowing on 4 April and 21 April caused a significant decrease in harvest index and 1000-seed weight.

1- M.Sc. graduated of Medicinal Plant, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran
2- Assistant Professor of Agronomy, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran
(*- Corresponding Author Email: Baziar.m@gmail.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2022.72537.1088

Conclusion

Late planting shortens the vegetative growth period, the plant enters the reproductive stage earlier and the plant is faced with a lack of photosynthetic resources. Also, the grain filling period is faced with drought stress and heat at the end of the season, and this end stress on grain weight causes a severe reduction in yield. On the other hand, vermicompost has been able to provide the plant with nutrients in an acceptable amount and has the right conditions for growth and increase yield. Therefore, vermicompost has increased the growth of black seed by providing a suitable growth environment. In total, the planting date is 19 February to 21 March and the use of vermicompost fertilizer 10 tons per hectare for planting black seed is recommended. Therefore, the use of vermicompost to increase the production of seed yield in *Nigella sativa* can be an interesting perspective in the production of this plant for industrial and pharmaceutical applications.

Keywords: Chlorophyll, Grain yield, Harvest index, Ion leakage, Phosphorous

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۱، ص ۱۷۸-۱٦۳

بهبود جذب عناصر غذایی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با کاربرد کود ورمی‌کمپوست در تاریخ‌های مختلف کاشت

عبدالعظیم بهرامی فرد[۱]، محمد رضا بازیار[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰

چکیده

شناخت تاریخ مناسب کاشت گیاهان دارویی برای هر منطقه می‌تواند در افزایش محصول موثر باشد. از سوی دیگر ورمی‌کمپوست با بهبود وضعیت بستر خاک می‌تواند سبب افزایش عملکرد گردد. در این پژوهش جذب عناصر غذایی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه گیاه سیاه‌دانه با کاربرد کود ورمی‌کمپوست در تاریخ‌های مختلف کاشت در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شهرستان فسا بررسی شد. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول تاریخ‌های مختلف کاشت در شش سطح (۱۵ بهمن، ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت) و فاکتور دوم ورمی‌کمپوست در سه سطح (شاهد و ورمی‌کمپوست ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بود. نتایج نشان داد که بیشترین جذب نیتروژن و فسفر در ۱ اسفند و ۱۵ اسفند مشاهده شد. همچنین بالاترین جذب نیتروژن و فسفر برگ در استفاده از کود ورمی‌کمپوست ۵ و ۱۰ تن در هکتار مشاهده شد. در تاریخ‌های مختلف کاشت، کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ، شاخص برداشت و وزن هزار دانه شد. در تاریخ کاشت ۱ اسفند، ۱۰ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی به میزان ۵/۸ درصد نسبت به شاهد شد. همچنین ۱۰ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست سبب افزایش عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱ اسفند و ۱۵ اسفند به‌ترتیب به میزان ۱۳/۲ و ۱۷/۸ درصد نسبت به شاهد شد. در مجموع تاریخ کاشت ۱ اسفند تا ۱ فروردین و استفاده از کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار برای کاشت گیاه سیاه‌دانه قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد دانه، فسفر، کلروفیل، نشت یونی

مقدمه

سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* L. از خانواده آلاله[۳] گیاهی یک‌ساله، علفی با ساقه افراشته و منشعب است. میوه این گیاه فولیکول می‌باشد که داخل آن بذرهای سیاه و معطر سیاه‌دانه وجود دارد (Ijaz *et al*., 2017). گیاه سیاه‌دانه در برخی نقاط ایران به‌صورت خودرو و در برخی نقاط دیگر به‌صورت زراعی کاشته می‌شود و مصارف گسترده‌ای در صنعت غذایی و دارویی کشور دارد (Hosseini *et al*., 2018). دانه این گیاه منبع غنی از اسیدهای چرب ضروری و غیر اشباع مانند لینولئیک اسید و اولئیک اسید و نیز ترکیبات دیگر مثل روغن، فسفولیپیدها، کاروتن، کلسیم، آهن و پتاسیم می‌باشد (Cheikh-Rouhou *et al*., 2007). عصاره روغنی سیاه‌دانه در کاهش کلسترول و جلوگیری از حملات قلبی به‌کار می‌رود. همچنین استفاده از اسانس و ترکیبات اصلی آن برای خواص ضد التهابی و فعالیت ضد میکروبی کمک شایانی می‌کند (Kazemi, 2014; Majeed *et al*., 2020).

تاریخ کشت از اصلی‌ترین فاکتورها در تعیین عملکرد سیاه‌دانه عنوان شده است. بر این اساس در مناطق مختلف، زمان‌های متفاوتی برای کشت این گیاه پیشنهاد گردیده است (Safaei *et al*., 2017). محققان گزارش کردند که بهترین تاریخ کاشت برای کاشت اکثر گیاهان دارویی، هوای با دمای ۱۵ تا ۳۵ درجه سیلسیوس می‌باشد. علاوه بر شرایط ذکرشده، گیاهان دارویی در روزهای کمتر از ۱۳ ساعت به گل رفته و گل‌دهی زودهنگام سبب کاهش چشمگیر در

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: Baziar.m@gmail.com
DOI: 10.22067/jcesc.2022.72537.1088
3- Ranunculaceae

میزان محصول و کم شدن عملکرد کمی و کیفی خواهد شد (Vatandoost and Madandoust, 2021). از سوی دیگر با بهبود وضعیت بستر خاک از طریق استفاده از کود ورمی‌کمپوست می‌تواند سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی در شرایط مختلف نوری گردد (Yosefi Shiadeh *et al*., 2015). شناخت تاریخ مناسب کاشت جهت بهبود حداکثر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی سیاه‌دانه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (Sultana *et al*., 2017). سیاه‌دانه گیاهی روز بلند است و زمان کاشت آن به‌طور معمول اسفند ماه می‌باشد. زمان گلدهی آن در مناطق جنوبی و گرم‌تر از دهه سوم فروردین و تا دهه اول خرداد طول می‌کشد. در مناطق سردتر و معتدل‌تر معمولا آخر اردیبهشت گلدهی آغاز و تا دهه اول تیرماه ادامه می‌یابد. به‌طور کلی می‌توان یک دوره تقریباً سه ماهه رشد و نمو را برای این گیاه در مناطق معتدل در نظر گرفت که از زمان کاشت تا هنگام برداشت به طول می‌انجامد (Rezvani Moghaddam and Ahmadzadeh Motlagh, 2007; Javadi, 2008).

با توجه به مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای آلی می‌توانند به‌عنوان راهکاری در افزایش عملکرد گیاهان دارویی باشد (Attarzadeh *et al*., 2019). کودهای با منشا آلی جایگاه قابل‌توجهی در کشاورزی پایدار به‌منظور جایگزین نمودن نهاده‌های شیمیایی دارا می‌باشد (Lim *et al*., 2015). ورمی‌کمپوست که در نتیجه فرایندهای هضم و تبدیل ضایعات آلی مثل کودهای دامی و بقایای گیاهی ضمن عبور از دستگاه گوارش کرم‌های خاکی به‌وجود می‌آید، از جمله منابع اساسی تغذیه گیاهان در نظام‌های زراعی پایدار می‌باشد (Ali *et al*., 2015). ورمی‌کمپوست به دلیل اثرات ترکیبات هورمونی و مواد محرک رشد باعث بهبود و افزایش عملکرد گیاه می‌شود. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست از طریق تأثیر بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و افزایش بیان ژن‌های مسئول سبب ایجاد تحمل در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (Ievinsh, 2020). ورمی‌کمپوست عملکرد کیفی گیاهان دارویی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. اگرچه سازوکار دقیق آن کاملاً روشن نیست، ولی احتمالاً از طریق تحریک ترشح اسیدهای آلی و بیان سنتز تنظیم‌کننده‌های رشد توانسته چنین نقشی را ایفا کند (Chaturvedi and Pandey, 2020). گزارش شده است که می‌توان از کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوست به‌عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی برای حصول شرایط مطلوب برای بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاه دارویی سیاه دانه استفاده کرد (Seyyedi *et al*., 2020). ورمی‌کمپوست به‌عنوان یک حاصلخیزکننده خاک سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و افزایش رشد و عملکرد در گیاه دارویی نعنا (*Mentha arvensis* L.) و سیاه‌دانه شد (Fallahi *et al*., 2018). با توجه به موارد بالا، شناخت تاریخ دقیق کاشت گیاهان دارویی و بستر مناسب کاشت جهت بهبود حداکثر رشد و عملکرد آن‌ها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. با وجود انجام مطالعات فراوان در مورد آثار مثبت کاربرد ورمی‌کمپوست در رشد گیاهان مختلف، تاکنون مطالعات کمی در مورد کاربرد ورمی‌کمپوست در گیاه سیاه‌دانه در تاریخ‌های مختلف کاشت انجام شده است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست بر رشد و عملکرد دانه گیاه سیاه‌دانه در تاریخ‌های مختلف کاشت در شهرستان فسا بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شهرستان فسا با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۶۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۹۵ دقیقه و ارتفاع ۱۴۳۰ متر از سطح دریا انجام گردید. عامل اول شامل شش تاریخ کاشت (۱۵ بهمن، ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت) و عامل دوم شامل ورمی‌کمپوست در سه سطح (شاهد، بدون کود و ورمی‌کمپوست مقدار ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بود. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱). همچنین شرایط آب و هوایی فصل کاشت تا برداشت سیاه‌دانه در فسا در طول دوره رشد گیاه در جدول ۲ گزارش شده است (ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرستان فسا).

کاشت در کرت‌هایی به ابعاد ۱/۶×۳ متر انجام و در هر کرت ۴ ردیف با تراکم زیاد کشت شد. فاصله بین ردیف‌ها ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین به دلیل کوچک بودن بذرها کشت در عمق نیم تا یک سانتی‌متری انجام شد (Javadi Hedayat Abad *et al*., 2014).

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک محل انجام آزمایش

Table 1- Analysis of soil physical and chemical testing

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH	Cu (mg.kg^{-1})	Fe (mg.kg^{-1})	Zn (mg.kg^{-1})	Mn (mg.kg^{-1})	K (mg.kg^{-1})	P (mg.kg^{-1})	N (%)	کربن آلی O.C (%)
Silty loam	1.05	7.49	0.58	8.1	1.9	3.7	198	10	0.1	0.68

جدول ۲- شرایط آب و هوایی در طول مراحل رشد سیاه‌دانه

Table 2- The climate conditions for during the growth stages of *Nigella sativa* L.

سال Year	ماه Month	حداقل دما Temperature Minimum (Celsius)	حداکثر دما Temperature Maximum (Celsius)	بارندگی Precipitation (mm)	ساعات آفتابی Sunny hours	تبخیر Evaporation (mm)
۱۳۹۹ 2021	بهمن February –January	1.8	20.5	12.3	277.1	118.3
	اسفند March–February	6.4	22.9	10.7	240.1	161.6
۱۴۰۰ 2021	فروردین April–March	10.2	32.9	1.6	306	278.2
	اردیبهشت May–April	14.8	32.9	۰	303.6	325.8
	خرداد May- June	20.0	39.8	۰	364.8	463
	تیر July –June	21.9	39.5	20.2	327	413.4
	مرداد Agust–July	22.3	38.9	20.6	310.9	395.4

فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. در مرحله ۳ تا ۶ برگی برای رسیدن به تراکم مطلوب (۲۵۰ بوته در مترمربع) عملیات تنک انجام شد (Javadi Hedayat Abad *et al*., 2014). در مدت زمان کاشت تا برداشت گیاه جهت کنترل علف‌های هرز ۴ مرتبه وجین دستی انجام گرفت. پس از آماده‌سازی زمین برای کاشت، کاربرد ورمی‌کمپوست بر پایه تیمارهای مورد استفاده انجام شد. خصوصیات کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۳ گزارش شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه کود ورمی‌کمپوست

Table 3- Analysis of vermicompost Fertilizer

هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی O.C (٪)	اسیدیته pH	نیتروژن N	فسفر N (٪)	پتاسیم K
2.4	14.27	7.25	1.78	0.79	1.45

بعد از کاشت بذرها در تاریخ‌های مربوطه، کرت‌های آزمایشی آبیاری شد. آبیاری برای تمامی تیمارها به‌صورت ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی انجام شد. آبیاری براساس اندازه‌گیری رطوبت خاک از طریق نمونه‌گیری مکرر و روزانه خاک از عمق توسعه ریشه در وسط هر کرت به روش وزنی انجام شد. مقدار آبیاری تا رسیدن به نقطه رطوبت ظرفیت زراعی انجام شد. برای تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد (Attarzadeh *et al*., 2019). طول دوره رشد گیاه سیاه‌دانه در تاریخ ۱۵ بهمن حدود ۱۰۲روز، ۱ اسفند حدود ۹۱ روز، تاریخ ۱۵ اسفند حدود ۸۵ روز، تاریخ ۱ فروردین حدود ۷۸ روز، تاریخ ۱۵ فروردین حدود ۶۵ روز و در نهایت تاریخ ۱ اردیبهشت ۵۴ روز بود. در پایان دوره رشد در مرحله ۵۰ درصد گلدهی نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی و صفات فیزیولوژیکی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات

غلظت عناصر غذایی برگ

تعیین غلظت عناصر غذایی برگ در مرحله ۵۰ درصد گلدهی از چهار یا پنج بوته انجام گرفت. اندازه‌گیری نیتروژن برگ پس از هضم نمونه گیاهی بر اساس تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کجلدال مدل V40 اندازه‌گیری شد (Lang, 1958). برای اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم برگ، نمونه‌های برداشت شده با آب مقطر کاملاً شسته شدند و به مدت دو روز در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون خشک گردید. سپس یک گرم از نمونه خشک شده توزین شد و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خاکستر گردید. غلظت فسفر

با استفاده از رنگ‌سنجی با معرف مولیبدات–وانادات توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Vis 2100 در طول موج ۴۲۰ نانومتر و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل 620G اندازه‌گیری شد (Jones *et al.*, 1991).

صفات فیزیولوژیکی

برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی از بوته‌های داخل مزرعه از چهار یا پنج بوته در مرحله ۵۰ درصد گلدهی نمونه‌برداری شد. برای سنجش میزان نشت یونی از روش سایرام و همکاران (Sairam *et al.*, 2009) استفاده شد. جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ‌ها، اول صبح و قبل از طلوع آفتاب از هر تیمار سه برگ کامل، جوان و شاداب انتخاب و توسط قیچی قطعاتی به یک اندازه در حدود یک سانتی‌متر از برگ جدا و وزن تر آن‌ها با ترازو (دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن آماس یافته‌ی برگ، برگ‌ها در ظروف پتری سربسته و حاوی آب مقطر در محلی تاریک با دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت قرار گرفتند. سپس رطوبت سطحی برگ‌ها با کاغذ واتمن شماره یک گرفته می‌شود و وزن آماس محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده و سپس وزن شدند. محتوای آب نسبی برگ‌ها با استفاده از زابطه (۱) محاسبه گردید (Weatherely, 1950).

$$\text{محتوای آب نسبی برگ} = ((FW - DW) / (TW - DW)) \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

که در آن FW وزن تازه‌ی بافت برگ، DW وزن خشک بافت برگ، TW وزن آماس یافته بافت برگ است.

میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1949) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون اندازه‌گیری شد. جذب نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Vis 2100 ساخت کشور آمریکا در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد. در نهایت میزان آن‌ها با استفاده از روابط (۲) تا (۴) محاسبه شد (Arnon, 1949).

$$\text{Chlorophyll a} = (mgg^{-1}) = (12.7\times OD.663) - (2.69\times OD.645)\times V/1000\times W \quad (۲)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (mgg^{-1}) = (22.9\times OD.645) - (4.68OD.663)\times V/1000\times W \quad (۳)$$

$$\text{Total chlorophyll} = (mgg^{-1}) = (8.02\times OD.663) + (20.2\times OD645)\times V/1000\times W \quad (۴)$$

که در آن V حجم نمونه، OD میزان جذب، W وزن تر نمونه است.

در پایان دوره رشد (انتهای گلدهی و شروع رسیدگی) ارتفاع، تعداد شاخه جانبی و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. برای محاسبه وزن خشک اندام هوایی در هر کرت برداشت از ردیف‌های وسط جهت حذف اثر حاشیه‌ای با مساحتی معادل یک متر مربع صورت گرفت و در نهایت وزن خشک اندام هوایی برحسب کیلوگرم در هکتار گزارش گردید. وزن خشک اندام هوایی به‌طور جداگانه به‌وسیله آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس به‌وسیله ترازوی دقیق (دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شد.

عملکرد و اجزای عملکرد دانه و شاخص برداشت

در پایان پس از برداشت عملکرد و اجزای عملکرد (شامل تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه) اندازه‌گیری شد. جهت تعیین تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول، ۱۰ بوته در خط وسط هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول شمارش گردید و سپس میانگین آن‌ها گزارش شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، برداشت در هر کرت از ردیف‌های وسط و در مساحتی معادل یک متر مربع صورت گرفت و در نهایت عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار گزارش گردید. شاخص برداشت محصول با تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیست‌توده (وزن خشک اندام هوایی+ عملکرد دانه) بر حسب درصد به‌دست آمد.

آنالیز آماری

تجزیه واریانس داده ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

محتوای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ

تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست، محتوای نیتروژن و فسفر برگ را تحت تاثیر قرار داد. همچنین محتوای عناصر نیتروژن و فسفر برگ تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت، اما اثر تیمارهای آزمایشی بر محتوای پتاسیم برگ معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها نشان داد که در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن، بیشترین محتوای نیتروژن برگ در شرایط ۱۰ تن کود ورمی‌کمپوست با میانگین ۲/۱۰ درصد و کمترین مقدار این صفت در شاهد با میانگین ۱/۲۹ درصد به‌دست آمد (جدول ۵). همچنین در تاریخ کاشت‌های دیگر، محتوای نیتروژن برگ در تیمار ۱۰ تن کود ورمی‌کمپوست در هکتار نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). نتایج دیگر نشان می‌دهد که استفاده از کود ورمی‌کمپوست ۵ و ۱۰ تن در

هکتار سبب افزایش معنی‌دار نیتروژن در تاریخ کاشت‌های ۱ اسفند، ۱۵ اسفند و ۱ فروردین نسبت به تاریخ کاشت‌های ۱۵ بهمن، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت شده است. به عبارت دیگر تسریع و یا تأخیر در زمان کاشت سبب کاهش جذب نیتروژن در برگ سیاه‌دانه شده است، به‌طوری که کمترین محتوای نیتروژن برگ در تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت (۱/۱۴ درصد) و ۱۵ بهمن (۱/۲۹ درصد) در شرایط بدون استفاده از کود ورمی‌کمپوست (شاهد) به‌دست آمد.

در تاریخ‌های مختلف کاشت، استفاده از کود ورمی‌کمپوست سبب افزایش محتوای فسفر برگ شد. به‌طوری که در هر تاریخ کاشت بیشترین محتوای فسفر برگ سیاه‌دانه در تیمار ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد، که البته از این نظر تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست وجود نداشت (جدول ۵). از سوی دیگر مشابه با صفت نیتروژن، بالاترین جذب فسفر برگ در استفاده از کود ورمی‌کمپوست ۵ و ۱۰ تن در تاریخ کاشت‌های ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین نسبت به تاریخ کاشت‌های ۱۵ بهمن و ۱ اردیبهشت به‌دست آمد (جدول ۵).

تأخیر در زمان کاشت احتمالا با کاهش رشد ریشه و کاهش جذب عناصر غذایی سبب کمتر شدن جذب نیتروژن و فسفر شده است. کاهش محتوای عناصر برگ در تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت احتمالاً به دلیل کمتر شدن طول دوره رشد رخ داده است. تاریخ کاشت مناسب، رشد گیاه را به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش و کاشت دیرهنگام به دلیل کاهش طول دوره رشد، سبب کاهش دسترسی به منابع می‌شود (Bagheri and Balouchi, 2013). یکی از دلایل حصول عملکرد کمتر در شرایط کاشت در زمان نامناسب کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی از خاک به ریشه گزارش شده است (Subedi *et al*., 2007). از سوی دیگر کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار به نظر می‌رسد از طریق بهبود ساختمان خاک سبب افزایش جذب عناصر غذایی شده است. کودهای آلی از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی سبب افزایش جذب عناصر توسط گیاه و بالا بردن میزان نیتروژن و فسفر در گیاه می‌شود (Erdal and Ekinci, 2020). ورمی‌کمپوست حاوی عناصر غذایی مناسب بوده و این عناصر را به‌تدریج در طول فصل رشد در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Demir, 2019). ورمی‌کمپوست فراهمی بیشتر عناصر غذایی از جمله نیتروژن را باعث شده و از هدرروی عناصر خاک جلوگیری می‌کند (Nigussie *et al*., 2016). محققان گزارش کردند که تاخیر در کاشت سبب کاهش جذب نیتروزن و فسفر در گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) شد، از سوی دیگر ورمی‌کمپوست تا حدودی سبب بهبود جذب این عناصر شد (Vatandoost and Madandoust, 2021).

نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ

تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست، نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ سیاه‌دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد، همچنین محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست قرار گرفت (جدول ۴). میزان نشت یونی در تاریخ کاشت‌های ۱۵ بهمن و ۱ اردیبهشت به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه بود (جدول ۶). همچنین نشت یونی برگ با افزایش استفاده از کود ورمی‌کمپوست روند کاهشی نشان داد، به‌طوری که کمترین میزان نشت یونی در تیمار ۱۰ تن ورمی‌کمپوست مشاهده شد، که از این نظر با تیمار ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

در تاریخ‌های مختلف کاشت، استفاده از کود ورمی‌کمپوست سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد، به‌طوری که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و پس از آن در ورمی‌کمپوست ۵ تن در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). در هر حال بالاترین محتوای نسبی آب برگ در استفاده از کود ورمی‌کمپوست ۵ و ۱۰ تن در تاریخ کاشت‌های ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین نسبت به تاریخ کاشت های ۱۵ بهمن و ۱ اردیبهشت به‌دست آمد (جدول ۵).

افزایش نشت یونی در تاریخ کاشت زودهنگام، احتمالا با تأثیر تنش سرما روی گیاهچه‌ها مرتبط بوده است. همچنین در تأخیر در کاشت احتمالا به دلیل همزمان شدن مراحل انتهایی رشد با تنش دمایی آخر فصل و یا کوتاه شدن طول دوره رشد نیز مؤید این امر می‌باشد. از سوی دیگر تاریخ کاشت در زمان مناسب (۱ اسفند و ۱۵ اسفند) به دلیل این‌که طول دوره رشد در شرایط مساعد محیطی بوده به اندازه کافی گیاه رطوبت را از خاک جذب کرده و محتوای نسبی آب برگ بالاتری برخوردار می‌باشد. محققان گزارش کردند که اثرات زیان‌بار زمان نامناسب کاشت از طریق تأثیر بر شاخص‌های فیزیولوژیکی مثل کارایی جذب آب و تشعشع بوده است (Mubvuma *et al*., 2021). تأخیر در زمان کاشت به دلیل افزایش تنش گرما و خشکی سبب کاهش رشد ریشه شده و در نتیجه سبب جذب کم آب از خاک در گندم می‌شود (Kamaei *et al*., 2019). محققان افزایش جذب آب توسط ریشه و انتقال به برگ‌ها را در اثر مصرف ورمی‌کمپوست در گندم گزارش کردند (Erdal and Ekinci, 2020). ورمی‌کمپوست علاوه بر کمک به گسترش ریشه، قابلیت نگهداری آب در خاک را افزایش داده که منجر به بهبود جذب آب توسط ریشه می‌شود. در نتیجه کمتر بودن محتوای نسبی آب برگ در تیمار شاهد، احتمالا به دلیل کاهش ظرفیت جذب آب در خاک است (Demir, 2019). محققان گزارش کردند که تاخیر در کاشت سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ گیاه دارویی بادرشبو شد، از سوی دیگر ورمی‌کمپوست نقش شایانی در بهبود محتوای نسبی آب برگ این گیاه داشت (Vatandoost and Madandoust, 2021).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات عناصر غذایی و فیزیولوژیکی سیاه‌دانه تحت‌تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت و سطوح مختلف ورمی‌کمپوست

Table 4- Analysis of variance (mean square) for studied traits elements and physiological of *Nigella sativa* L. influenced by different planting dates and different levels of vermicompost

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	نیتروژن برگ Leaf Nitrogen	فسفر برگ Leaf Phosphorous	پتاسیم برگ Leaf Potassium	نشت یونی Ion leakage	محتوای نسبی آب برگ RWC	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
تکرار Replication	2	0.02 ns	0.0004 ns	0.160 **	48.70 ns	1.04 **	0.013 ns	0.017 ns	0.053 ns
تاریخ کاشت Planting date	3	0.51 **	0.001 **	0.014 ns	350.90 **	43.26 *	0.402 **	0.023 **	0.591 **
ورمی‌کمپوست Vermicompost	2	4.10 **	0.009 **	0.003 ns	58.87 *	256.99 **	1.120**	0.456 **	3.01 **
تاریخ کاشت × ورمی‌کمپوست Planting date× Vermicompost	6	1.31 **	0.003 **	0.002 ns	7.26 ns	5.67 *	0.026 ns	0.002 ns	0.039 ns
خطا Error	22	0.32	0.0001	0.010	14.56	2.55	0.057	0.002	0.011
ضریب تغییرات C.V (٪)	–	9.6	11.6	8.4	9.8	12.4	10.3	14.7	12.5

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار.

*, ** and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level and non-significant, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست بر نیتروژن و فسفر برگ و محتوای نسبی آب برگ سیاه دانه

Table 5- Mean comparison of interactions of planting dates and vermicompost for leaf nitrogen, leaf phosphorus and relative water content of *Nigella sativa* L.

تاریخ کاشت Planting date	ورمی‌کمپوست Vermicompost (ton.ha^{-1})	نیتروژن برگ Leaf nitrogen (%)	فسفر برگ Leaf phosphorous (%)	محتوای نسبی آب برگ RWC (%)
۱۵ بهمن 3 February	0	1.29 ef	0.182 gh	59.53 ij
	5	1.63 cd	0.209 ef	63.63 fgh
	10	2.10 b	0.221 de	63.66 fgh
۱ اسفند 19 February	0	1.53 de	0.199 gf	62.30 ghi
	5	2.14 b	0.238 bcd	67.80 a-d
	10	2.58 a	0.246 ab	70.13 ab
۱۵ اسفند 5 March	0	1.46 def	0.205 ef	64.66 efg
	5	2.13 b	0.240 abc	66.86 cde
	10	2.58 a	0.258 a	70.73 a
۱ فروردین 21 March	0	1.31 def	0.205 ef	61.33 hij
	5	2.10 b	0.233 bcd	66.46 def
	10	2.51 a	0.245 ab	70.56 a
۱۵ فروردین 4 April	0	1.37 def	0.199 gf	59.70 ij
	5	1.88 bc	0.223 cde	67.46 a-d
	10	2.19 b	0.240 abc	69.73 abc
۱ اردیبهشت 21 April	0	1.14 f	0.173 h	58.96 j
	5	1.45 def	0.205 ef	62.00 ghi
	10	1.85 bc	0.220 de	66.60 de

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

جدول ٦- مقایسه میانگین تاریخ کاشت بر صفات مورد بررسی سیاه دانه

Table 6. Mean comparison of planting dates for studied traits of *Nigella sativa* L.

تاریخ کاشت Planting date	نشت یونی Ion leakage (%)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g^{-1} FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g^{-1} FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g^{-1} FW)	شاخه جانبی Lateral branch	فولیکول در بوته Follicle per plant	تعداد دانه در فولیکول Seed per Follicle
۱۵ بهمن 3 February	45.60 a	2.20 b	1.26 bc	3.46 b	11.77 b	10.44 b	42.44 c
۱ اسفند 19 February	37.02 b	2.31 ab	1.35 a	3.66 ab	13.0 ab	12.11 a	47.22 ab
۱۵ اسفند 5 March	34.80 b	2.53 a	1.33 a	3.86 a	13.55 a	12.44 a	49.22 a
۱ فروردین 21 March	34.16 b	2.41 ab	1.32 a	3.73 a	12.88 ab	12.11 a	49.11 a
۱۵ فروردین 4 April	33.88 b	2.45 a	1.30 ab	3.75 a	12.33 ab	11.77 a	45.0 bc
۱ اردیبهشت 21 April	47.96 a	1.94 c	1.21 c	3.15 c	9.00 c	10.44 b	36.55 d

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

جدول ۷- مقایسه میانگین ورمی‌کمپوست بر صفات مورد بررسی سیاه دانه

Table 7- Mean comparison of vermicompost for studied traits of *Nigella sativa* L.

ورمی‌کمپوست Vermicompost (t.ha^{-1})	نشت یونی Ion leakage (%)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g^{-1} FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g^{-1} FW)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg g^{-1} FW)	شاخه جانبی Lateral branch	فولیکول در بوته Follicle per plant	تعداد دانه در فولیکول Seed per Follicle
0	40.73 a	2.06 c	1.13 c	3.19 c	9.16 c	9.94 b	37.83 c
5	38.87 ab	2.31 b	1.30 b	3.62 b	12.88 b	12.00 a	46.11 b
10	37.11 b	2.55 a	1.45 a	4.01 a	14.22 a	12.72 a	50.83 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی

تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست، بر کلروفیل a، b و کل برگ معنی‌دار بود، اما این صفات تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست قرار نگرفت (جدول ۴). در تاریخ کاشت ۱ اسفند، محتوای کلروفیل a، b و کل برگ با تاریخ ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۶). از سوی دیگر تاریخ کاشت ۱۵ بهمن و ۱ اردیبهشت سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل a، b و کل برگ سیاه‌دانه گردید. محتوای کلروفیل a، b و کل برگ با افزایش استفاده از کود ورمی‌کمپوست روند افزایشی نشان داد، به‌طوری‌که بیشترین میزان محتوای کلروفیل a، b و کل برگ در تیمار ۱۰ تن ورمی‌کمپوست مشاهده شد، ضمن این‌که ورمی‌کمپوست ۵ تن در هکتار نیز محتوای کلروفیل را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۷). همچنین کمترین محتوای کلروفیل a، b و کل در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۷).

به نظر می‌رسد گیاه سیاه‌دانه در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن به علت مصادف شدن بخشی از دوره رشد با تنش سرمای ابتدای فصل و تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت احتمالا به دلیل همزمان شدن مراحل انتهایی رشد با تنش دمایی آخر فصل و یا کوتاه شدن طول دوره رشد سبب کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی شده است. تغییر در تاریخ کاشت به علت تغییر طول روز، دما و رطوبت نسبی تأثیر به‌سزایی در رشد و نمو طی فصل رشد دارد (Khichar and Niwas, 2006). اثر تاریخ کاشت روی میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی به واکنش گیاه به فتوپریود و دما وابسته است (Atif *et al.*, 2020). از سوی دیگر مصرف کود ورمی‌کمپوست احتمالا به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن سبب سنتز بیشتر رنگدانه‌های فتوسنتزی شده است (Hosseinzadeh *et al.*, 2018). بنابراین با توجه به نقش کلیدی عناصری مانند نیتروژن در ساختمان کلروفیل، به نظر می رسد تأمین این عنصر دلیل اصلی افزایش کلروفیل برگ در این پژوهش باشد. به‌طور کلی میزان تجمع کلروفیل در بافت‌های سبز گیاهی از مهم‌ترین صفت‌های فیزیولوژیکی است که رابطۀ مستقیمی با میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی دارد و میزان آن در شرایط تنش به‌شدت کاهش می‌یابد (Baghbani- Arani *et al.*, 2017).

ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی

ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی سیاه‌دانه تحت تأثیر تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت، همچنین ارتفاع بوته تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست قرار گرفت (جدول ۸). در تاریخ کاشت ۱ اسفند، بیشترین ارتفاع بوته در شرایط ۱۰ تن کود ورمی‌کمپوست با میانگین ۳۵/۶ سانتی‌متر و کمترین مقدار این صفت در شاهد با میانگین ۲۴/۳ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ۹). در تاریخ کاشت ۱ فروردین، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت ارتفاع بوته در کود ورمی‌کمپوست ۵ تن در هکتار نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۹). در هر حال تاخیر در کاشت در تاریخ ۱ اردیبهشت سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت شد.

بیشترین تعداد شاخه جانبی در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند مشاهده شد، که البته از این نظر تفاوت معنی‌داری بین تاریخ کاشت ۱۵ اسفند و تاریخ‌های کاشت ۱ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین وجود نداشت. از سوی دیگر تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت سبب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی نسبت به تاریخ‌های مختلف کاشت شد (جدول ۶). از سوی دیگر بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی سیاه‌دانه به‌ترتیب به میزان ۱۲ و ۱۴ عدد در تیمار ۵ و ۱۰ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۷).

کاشت گیاه در زمان مناسب سبب می‌شود که مجموعه عوامل محیطی مناسب برای سبز شدن، استقرار و بقای گیاه فراهم شود و گیاه در دوره رشد خود با شرایط مطلوب محیطی روبه‌رو گردد (Ghorbani *et al.*, 2010). بنابراین دوره رشد طولانی‌تر در شرایط مساعد محیطی و یا اختلاف در صفات فیزیولوژیکی مثل نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ و مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی، از دلایل احتمالی برای میزان بالاتر شاخص‌های رشدی بود.

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات رویشی و عملکردی سیاه‌دانه تحت‌تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت و سطوح مختلف ورمی‌کمپوست

Table 8- Analysis of variance (mean square) for studied traits vegetative and yield traits of *Nigella sativa* L. influenced by different planting dates and different levels of vermicompost

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	شاخه جانبی Lateral branch	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	فولیکول در بوته Follicle per plant	تعداد دانه در فولیکول Seed number per Follicle	وزن هزار دانه Seed thousand weight
تکرار Replications	2	4.7 ns	0.35 ns	449 ns	351 ns	1.77 ns	0.22 ns	12.9 ns	0.027 **
تاریخ کاشت Planting dates	3	191.1 **	23.97 **	25032 **	16211 **	50.5 **	7.06 **	211.4 **	0.096 **
ورمی‌کمپوست Vermicompost	2	347.3 **	123.57 **	33732 **	22979 **	46.5 **	37.3 **	779.4 **	0.291 **
تاریخ کاشت × ورمی‌کمپوست Planting dates× Vermicompost	6	71.6 *	0.95 ns	14199 *	1293 *	10.23 *	0.25 ns	4.8 ns	0.034 **
خطا Error	22	4.7	1.44	1219	411	1.71	0.47	9.7	0.003
ضریب تغییرات C.V (٪)	–	7.5	9.9	12.4	14.0	9.4	5.9	13.3	11.1

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار.

*, ** and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level and non-significant, respectively.

جدول ۹- مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست بر ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه سیاه‌دانه

Table 9- Mean comparison interactions of planting dates and vermicompost for plant height, shoot dry weight, seed yield, harvest index and seed thousand weight of *Nigella sativa* L.

تاریخ کاشت Planting date	ورمی‌کمپوست Vermicompost (ton.ha^{-1})	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه Seed thousand weight (g)
۱۵ بهمن 3 February	0	24.3 gh	1403 c-f	380 gh	27.13 g	1.70 h
	5	27.6 fgh	1465 abc	416 d-g	28.38 efg	1.86 efg
	10	35.6 abc	1489 a	423 def	28.43 efg	1.86 efg
۱ اسفند 19 February	0	26.3 fgh	1410 b-f	446 cd	31.63 bcd	1.80 gh
	5	32.6 cde	1472 ab	495 ab	33.61 abc	2.0 bcd
	10	36.6 ab	1492 a	505 ab	33.85 ab	2.06 abc
۱۵ اسفند 5 March	0	28.6 f	1439 a-d	436 cde	30.35 de	1.86 efg
	5	33.0 bcd	1460 abc	504 ab	34.52 a	1.96 cde
	10	37.6 a	1485 a	514 a	34.63 a	2.13 a
۱ فروردین 21 March	0	26.0 fgh	1371 efg	429 def	31.34 cd	1.83 fg
	5	30.0 def	1427 a-e	495 ab	34.69 a	2.0 bcd
	10	37.0 a	1480 a	511 a	34.54 a	2.10 ab
۱۵ فروردین 4 April	0	24.0 gh	1354 fg	406 efg	30.01 def	1.70 h
	5	28.0 fg	1405 c-f	468 bc	33.33 abc	1.83 fg
	10	29.0 ef	1427 a-e	482 ab	33.81 ab	1.93 def
۱ اردیبهشت 21 April	0	17.6 i	1261 h	348 h	27.60 fg	1.56 i
	5	20.0 i	1335 g	396 fg	29.65 def	1.80 gh
	10	23.6 h	1378 d-g	414 d-g	30.07 de	1.86 efg

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

در آزمایشی علت کاهش رشد گیاه با تأخیر در کاشت را کاهش دوره رشد رویشی دانسته‌اند (Seghatoleslami and Ahmadi, 2010). از سوی دیگر کود ورمی‌کمپوست حاوی عناصر غذایی قابل استفاده فراوانی بوده که به‌تدریج آزاد شده و در اختیار گیاه قرار گرفته، بنابراین سبب افزایش رشد و تعداد شاخه جانبی می‌گردد (Rathore and Kumar, 2021). در هر حال ورمی‌کمپوست به دلیل خواص اصلاح‌کنندگی خاک، رشد گیاه را تحریک می‌کند (Gohari *et al*., 2019).

وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه و شاخص برداشت

اثر تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست بر وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه و شاخص برداشت سیاه‌دانه معنی‌دار بود، همچنین این صفات تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۸). تأخیر در زمان کاشت سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی شد. در تاریخ کاشت‌های مختلف، بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار این صفت در شاهد به‌دست آمد (جدول ۹). از سوی دیگر در تاریخ کاشت‌های مختلف، وزن خشک اندام هوایی در ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار نسبت به ورمی‌کمپوست ۵ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۹).

کاشت زودهنگام در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن و تاخیر در کاشت به‌ویژه در تاریخ ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد (جدول ۹). از سوی دیگر در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن، عملکرد دانه در شرایط ۱۰ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست نسبت به شاهد افزایش ۱۱/۳ درصدی نشان داد (جدول ۹). همچنین کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست سبب افزایش عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱ اسفند و ۱۵ اسفند به‌ترتیب به میزان ۱۳/۲ و ۱۷/۸ درصد نسبت به شاهد شد. بین ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست از نظر عملکرد دانه در تاریخ‌های مختلف کاشت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۹).

نتایج مشابهی برای شاخص برداشت گیاه سیاه‌دانه حاصل شد، به‌طوری که کاشت زودهنگام در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن و تاخیر در کاشت در تاریخ ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت سبب کاهش معنی‌دار این صفت شد (جدول ۹). بنابراین بیشترین شاخص برداشت در تاریخ کاشت ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین حاصل شد. شاخص برداشت در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری نسبت به کاربرد ۵ تن در هکتار از این کود نداشت (جدول ۹).

تأخیر در زمان کاشت باعث کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه گندم

می‌شود و در نتیجه گیاه ماده خشک کمتری تولید می‌کند. محققان گزارش کردند که اثرات زیان‌بار تأخیر در کاشت به دلیل تنش گرمای انتهایی دوره رشد از طریق تأثیر بر شاخص‌های فیزیولوژیکی بوده است (Kamaei *et al.*, 2019). بنابراین کاهش در میزان شاخص‌های رشد از جمله وزن خشک اندام هوایی سیاه‌دانه در تیمار ۱ اردیبهشت احتمالاً در نتیجه کاهش محتوای کلروفیل و اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی حاصل شده است. همچنین کاشت زودهنگام به دلیل تاثیر منفی بر صفات فیزیولوژیکی از جمله نشت یونی و شاخص‌های فتوسنتزی تا حدودی سبب کاهش عملکرد دانه و شاخص برداشت شده است. از سوی دیگر تولید عملکرد بیشتر در سطح ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد احتمالا به دلیل جذب عناصر غذایی بیشتر و همچنین بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ می‌باشد. احتمالا مقادیر بالای ورمی‌کمپوست سبب افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک شده و به تبع آن جذب عناصر غذایی مورد استفاده در گیاه افزایش می‌یابد (Rathore and Kumar, 2021). محققان گزارش کردند که ورمی‌کمپوست با بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی تأثیر مثبتی روی رشد و عملکرد دانه گیاه دارویی سیاه‌دانه دارد (Ariafar and Sirousmehr, 2017). محققان گزارش کردند که با توجه به این‌که ورمی‌کمپوست سبب بهبود جذب عناصر غذایی و صفات فیزیولوژیکی بادرشبو شد، در نتیجه این امر سبب افزایش رشد و عملکرد به دنبال داشت (Vatandoost and Madandoust, 2021).

اجزای عملکرد دانه

تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه را در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر قرار داد، همچنین وزن هزار دانه تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست قرار گرفت (جدول ۸). تاریخ کاشت ۱۵ بهمن و ۱ اسفند سبب کاهش تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول گردید، اما این صفات در بقیه تاریخ‌های کاشت از میزان بالاتری برخوردار بود (جدول ۶). از سوی دیگر بیشترین تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول در تیمار ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده شد. همچنین تعداد فولیکول در بوته در ورمی‌کمپوست ۵ تن در هکتار با ۱۰ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۷).

کاشت زودهنگام و تاخیر در کاشت سبب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه سیاه‌دانه شد (جدول ۹). در نتیجه بیشترین وزن هزار دانه در تاریخ کاشت ۱ اسفند، ۱۵ اسفند و ۱ فروردین حاصل شد. نتایج دیگر نشان داد که در تاریخ‌های مختلف کاشت، بیشترین شاخص برداشت در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد که البته نسبت به تیمار ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۹).

کاشت دیرهنگام باعث می‌شود که طول دوره مراحل نموی کوتاه‌تر شود و قبل از این‌که اندام‌های رویشی برای ایجاد منبع فیزیولوژیک به‌طور کامل توسعه یابند، بوته‌ها زودتر وارد مرحله زایشی شده و در ادامه با کمبود منابع فتوسنتزی مواجه شوند (Kamali *et al.*, 2020). بنابراین زمان کاشت نامناسب سبب کاهش اجزا عملکرد شده است. گزارش شده است که دمای زیاد محیط در مرحله تورم غلاف برگ پرچم تا ظهور سنبله باعث اختلال در تقسیم سلول‌های مادر دانه گرده و زنده ماندن آن‌ها شده و می‌تواند تعداد دانه را کاهش دهد (Dhillon and Fischer, 1994). همچنین عوامل محیطی پس از گرده‌افشانی به‌طور عمده بر وزن هزار دانه تاثیر می‌گذارد. بنابراین مواجه شدن بوته‌ها در این دوره با تنش‌های محیطی مانند گرما در انتهای فصل وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Hussain *et al.*, 2012; Jahan *et al.*, 2018). با توجه به این‌که ورمی‌کمپوست سبب بهبود جذب عناصر غذایی شده، بنابراین افزایش اجزای عملکرد گیاه سیاه‌دانه در تیمار ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار تاییدی بر این ادعا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

اثر تاریخ کاشت به دلیل تاثیر آن در مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان به‌ویژه مراحل اولیه رشد و دوره گلدهی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. کاشت زودهنگام موجب می‌شود که گیاه احتمالا با خطر سرمازدگی در ابتدای رشد مواجه گردد و سبب افزایش نشت یونی در برگ‌ها شود. از سوی دیگر تأخیر در زمان کاشت با کوتاه شدن طول دوره رشد سبب تاثیر منفی بر محتوای نسبی آب برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی شده است. کاشت دیرهنگام باعث کوتاه شدن دوره رشد رویشی می‌شود و گیاه زودتر از آن وارد مرحله زایشی شده است. بنابراین احتمالا به دلیل همزمان شدن مراحل انتهایی رشد با تنش دمایی آخر فصل سبب کاهش شدید عملکرد می‌شود. از سوی دیگر تیمار کودی ورمی‌کمپوست استفاده شده بر رشد سیاه‌دانه اثر معنی‌داری داشت. ورمی‌کمپوست توانست احتمالاً عناصر غذایی را به میزان قابل قبول در اختیار گیاه قرار دهد و شرایط مناسب رشد و افزایش عملکرد را در پی داشته باشد. بنابراین ورمی‌کمپوست با فراهم آوردن محیط رشد مناسب باعث افزایش رشد در سیاه‌دانه شده است. در مجموع تاریخ کاشت ۱ اسفند تا ۱ فروردین و استفاده از کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار برای کاشت گیاه سیاه‌دانه قابل توصیه می‌باشد.

References

1. Ali, U., Sajid, N., Khalid, A., Riaz, L., Rabbani, M. M., Syed, J. H., and Malik, R.N. 2015. A review on vermicomposting of organic wastes. Environmental Progress and Sustainable Energy 34: 1050-1062. https://doi.org/10.1002/ep.12100.
2. Ariafar, S., and Sirousmehr, A. R. 2017. Effect of municipal solid waste compost on yield and quantity and quality characteristics of black cumin under water stress conditions. Journal of Crops Improvement 19: 31-42. (in Persian with English abstract).
3. Arnon, D. E. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). Plant Physiology 24: 1-15. DOI: 10.1104/pp.24.1.1.
4. Atif, M. J., Amin, B., Ghani, M. I., Ali, M., and Cheng, Z. 2020. Variation in morphological and quality parameters in garlic (*Allium sativum* L.) bulb influenced by different photoperiod, temperature, sowing and harvesting time. Plants 9: 155. https://doi.org/10.3390/plants9020155.
5. Attarzadeh, M., Balouchi, H. R., Rajaie, M., Movahhedi Dehnavi, M., and Salehi, A. 2019. Improvement of *Echinacea purpurea* performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes. Agricultural Water Management 221: 238-47. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.022.
6. Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi-Akbar-Boojar, M., and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2017. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. Industrial Crops and Products 109: 346-357. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.049.
7. Bagheri, F., and Balouchi, H. R. 2013. The effect of planting date on some quantitative and qualitative traits of nine grain Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars in Yasouj region. Journal of Crop Production and Processing 3 (9): 29-43. (in Persian with English abstract).
8. Chaturvedi, S., and Pandey, R. 2020. Bioinoculant with vermicompost augments essential oil constituents and antioxidants in *Mentha arvensis* L. Journal of Plant Growth Regulation 1-14. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10189-y.
9. Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Hentati, B., Blecker, C., Deroanne, C., and Attia, H. 2007. *Nigella sativa* L.: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction. Food chemistry 101: 673-681. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.022.
10. Demir, Z. 2019. Effects of vermicompost on soil physicochemical properties and lettuce (*Lactuca sativa* Var. Crispa) yield in greenhouse under different soil water regimes. Communications in Soil Science and Plant Analysis 50: 2151-2168. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1654508.
11. Ortiz-Monasterio, J. I., Dhillon, S. S., and Fischer, R. A. 1994. Date of sowing effects on grain yield and yield components of irrigated spring wheat cultivars and relationships with radiation and temperature in Ludhiana, India. Field Crops Research 37: 169-184. https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90096-5.
12. Erdal, İ., and Ekinci, K. 2020. Effects of composts and vermicomposts obtained from forced aerated and mechanically turned composting method on growth, mineral nutrition, and nutrient uptake of wheat. Journal of Plant Nutrition 43: 1343-1355. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1727506.
13. Fallahi, H. R., Taherpour Kalantari, R., Asadian, A. H., Aghhavani-shajari, M., and Ramazani, H. R. 2018. Effect of different soil fertilizing agents on growth and yield of isabgol and black seed as two medicinal plants. Iranian Journal of Field Crop Science 49 (3): 1-11. (in Persian with English abstract).
14. Ghorbani, R., Koocheki, A., Jahani, M., Hosseini, A., Mohammad-Abadi, A. A., and Sabet Teimouri, M. 2010. Effect of planting date, weed control time, and method on yield and yield components of cumin. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (1): 143-151. (in Persian with English abstract).
15. Gohari, G., Mohammadi, A., and Duathi Kazemnia, H. 2019. Effect of vermicompost on some growth and biochemical characteristic of *Dracocephalum moldavica* L. under water salinity stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 29: 151-168. (in Persian with English abstract).
16. Hosseini, S. S., Nadjafi, F., Asareh, M. H., and Rezadoost, H. 2018. Morphological and yield related traits, essential oil and oil production of different landraces of black cumin (*Nigella sativa*) in Iran. Scientia Horticulturae 233: 1-8. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.038.
17. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., and Ismaili, A. 2018. Evaluation of photosynthesis, physiological, and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Pirouz) under water deficit stress and use of vermicompost fertilizer. Journal of Integrative Agriculture 17: 2426-2437.
18. Hussain, M., Farooq, M., Shabir, G., Khan, M. B., Zia, A. B., and Lee, D. J. 2012. Delay in Planting Decreases Wheat Productivity. International Journal of Agriculture and Biology 14.
19. Ievinsh, G. 2020. Review on physiological effects of vermicomposts on plants. Biology of Composts 58: 63-86. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39173-7_4.
20. Ijaz, H., Tulain, U. R., Qureshi, J., Danish, Z., Musayab, S., Akhtar, M. F., Saleem, A., Khan, K. A. U. R., Zaman, M., and Waheed, I. 2017. *Nigella sativa* (Prophetic Medicine): A Review. Pakistan Journal of Pharmaceutical

Sciences 30.

21. Jahan, M., Sen, R., Ishtiaque, S., Choudhury, A. K., Akhter, S., Ahmed, F., Biswas, J. C., Manirruzaman, M., Miah, M. M., and Rahman, M. 2018. Optimizing sowing window for wheat cultivation in Bangladesh using CERES-wheat crop simulation model. Agriculture, Ecosystems and Environment 258: 23-29. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.02.008.
22. Javadi Hedayat Abad, F., Nezami, A., Kafi, M., and Shabahang, J. 2014. Effects of Sowing Time on Yield of Black Seed (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Mashhad Conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 12: 632-640. (in Persian with English abstract).
23. Javadi, H. 2008. Effect of planting dates and nitrogen rates on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6: 59-66. (in Persian with English abstract).
24. Jones, J. R., Wolf, J. B., and Mkks, H. A. 1991. Plant analysis: A paractical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro and Macro publishing Inc. Athens, Georgia.
25. Kamaei, H., Eisvand, H. R., Daneshvar, M., and Nazarian, F. 2019. The study effects of planting date, phosphate Bio-fertilizer and foliar application of zinc and boron on leaf area index, leaf area duration, leaf relative water content, cell membrane stability, quantum efficiency of PSII, leaf proline content and grain yield of bread wheat. Plant Process and Function 8 (29): 59-74. (in Persian with English abstract).
26. Kamali, N., Pour, M. K., and Soleymani, A. 2020. Light absorption and light extinction in barley (*Hordeum vulgare* L.) as affected by planting dates and plant genotypes. Theoretical and Applied Climatology 142: 589-597. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03342-w.
27. Kazemi, M. 2014. Phytochemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial activity of *Nigella sativa* L. essential oil. Journal of Essential Oil Bearing Plants 17: 1002-1011. https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.914857.
28. Khichar, M. L., and Niwas, I. 2006. Microclimatic profiles under different sowing environment in wheat. Journal of Agrometeorology 8: 201-209.
29. Lang, C. A. 1958. Simple micro determination of kjeldahl nitrogen in biological materials. Analytical Chemistry 30: 1692-1694. https://doi.org/10.1021/ac60142a038.
30. Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., and Shak, K. P. Y. 2015. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. Journal of the Science of Food and Agriculture 95: 1143-1156. https://doi.org/10.1002/jsfa.6849.
31. Majeed, A., Muhammad, Z., Ahmad, H., Hayat, S. S. S., Inayat, N., and Siyyar, S. 20201. *Nigella sativa* L.: Uses in traditional and contemporary medicines-An overview. Acta Ecologica Sinica 41 (4): 253-258. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2020.02.001.
32. Mubvuma, M. T., Ogola, J. B., and Mhizha, T. 2021. Effect of planting date and genotype on intercepted radiation and radiation use efficiency in chickpea crop (*Cicer arietinum* L.). Cogent Food & Agriculture 7: 1899422. https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1899422.
33. Nigussie, A., Kuyper, T. W., Bruun, S., and de Neergaard, A. 2016. Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. Journal of Cleaner Production 139: 429-439. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.058.
34. Rathore, S., and Kumar, R. 2021. Vermicompost fertilization and pinching improves the growth, yield, and quality of super food (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the western Himalaya. Acta Physiologiae Plantarum 43: 1-16. https://doi.org/10.1007/s11738-020-03184-z.
35. Rezvani Moghaddam, P., and Ahmadzadeh Motlagh, M. 2007. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa*) in Islamabad-Ghayein. Pajouhesh and Sazandegi 76: 62-68.
36. Safaei, Z., Azizi, M., Davarynejad, G., and Aroiee, H. 2017. The effect of planting seasons on quantitative and qualitative characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Medicinal Plants and By-product 6: 27-33. DOI: 10.22092/JMPB.2017.113147.
37. Sairam, R. K., Dharmar, K., Chinnusamy, V., and Meena, R. C. 2009. Water logging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mug bean (*Vigna radiata*). Journal of Plant Physiology 6: 602-616. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.09.005.
38. Seghatoleslami, M. J., and Ahmadi Bonakdar, Kh. 2010. The effect of sowing date and plant density on yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum gracum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26 (2): 265-274. (in Persian with English abstract).
39. Seyyedi, S. M., Rezvani Moghaddam, P., Khajeh Hossieni, M., and Shahandeh, H. 2020. Effect of calcareous soil amendments on quantitative and qualitative yields of black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology 11 (4): 1437-1448. (in Persian with English abstract).
40. Subedi, K., Ma, B., and Xue, A. 2007. Planting date and nitrogen effects on grain yield and protein content of spring wheat. Crop Science 47: 36-44. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.02.0099.
41. Sultana, S., Das, B., Rudra, B. C., Das, G., and Alam, B. 2017. Effect of date of sowing on productivity of black cumin. Annals of Horticulture 10: 172-175. DOI:10.5958/0976-4623.2017.00029.9.

42. Vatandoost, M., and Madandoust, M. 2021. Improving the quantitative and qualitative yield of *dracocephalum moldavica* L. with vermicompost in different planting dates. Iranian Journal of Field Crops Research 19 (3): 249-260. (in Persian with English abstract).
43. Weatherely, P. E. 1950. Studies in water relation on cotton plants, the field measurement of water deficit in leaves. New Phytologist 49: 81-87.
44. Yosefi Shiadeh, S. Y., Chalavi, V., and Zangi, S. 2015. The effect of different levels of vermicompost and photoperiod on greenhouse production of medicinal plant stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 6 (1): 31-39. (in Persian with English abstract).